

측고를 높인 1-2W형 비닐하우스의 구조안전성 분석 및 구조보강 방법

류희룡^{1*} · 유인호¹ · 조명환¹ · 엄영철²

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예시험장, ²원예작물부

Structural Reinforcement Methods and Structural Safety Analysis for the Elevated Eaves Height 1-2W Type Plastic Greenhouse

Hee Ryong Ryu^{1*}, In Ho Yu¹, Myeong Whan Cho¹, and Yeong Cheol Um²

¹Protected Horticulture Research Station, NIHHS, RDA, Busan 618-800, Korea

²Department of Horticultural Crop Research, NIHHS, RDA, Suwon 440-706, Korea

Abstract. This study was conducted to find proper structural reinforcement methods for the 4.5m-high (eaves height) 1-2W type plastic greenhouse. 3D finite element analysis was used to analyze the steel-tube structure. The 4.5m-high 1-2W type plastic greenhouse was modified by welding 1.5m-long steel-pipes into a 3.0m-tall columns of the standard 1-2W type plastic greenhouse. This remodeling method is widely used in Korea with farmer's discretion to increase the production when they grow paprika. But it is not based on the quantitative structural analysis. The proposed reinforcement methods were proved to stand against the design wind velocity of $40\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ and snow depth of 40cm. It strongly implies that the cross beam between side columns and wind resistance walls, and the lattice type cross beam should be good reinforcements to improve the structural safety of the elevated eaves height plastic greenhouse.

Key words : 1-2W A type, cropping height, FEM, limited height, paprika

서 언

파프리카가 고소득 작물로 알려지면서 그 재배면적이 급격히 증가하여 '07년 현재 343ha에 이르고 있다. 이 중에서 유리온실은 101ha로 총 재배면적의 29%를, 비닐하우스는 242ha로 71%를 차지하고 있으며 연간 32,250t의 생산량 중 14,200t이 수출되고 있다(KREI, 2008).

농가에서는 초장이 4m 이상 되는 파프리카를 측고가 3m인 1-2W형 비닐하우스에서 재배하고 있어, 시설의 구조적 특성 상 노동 강도가 매우 높고 생산량에 한계가 있다. 따라서 농가에서는 비닐하우스의 측고를 4.5m로 높여 재배하여 관행대비 30%의 중수 효과를 얻고 있으나, 구조안전성 평가가 제대로 이루어지지

않아 체계적인 분석과 함께 적절한 보강기준 마련이 절실하다(You 등, 2007).

비닐하우스와 같은 농업시설의 안전성 확보에 대한 연구는 다양한 분야에서 체계적으로 진행되고 있다. Lee 등(1995), ASAE(1997), ECS(2002), NGMA(2004), (일)시설원예협회(2005)는 각국의 특성에 맞는 시설하우스 설계 기준 또는 방향을 제시하고 있다.

구조 및 자재에 대한 설계기준 마련과 표준화를 위한 설계하중 산정 및 간이 구조분석(Kim 등, 1992a, b; Son, 1994), 풍력계수 산정(Lee 등, 1992a, b; Lee 등, 1993)을 위한 연구가 진행되었고, Iribarne 등(2007)은 객체지향기술을 이용한 연동하우스의 효율적 설계에 대한 연구를 진행하였다. 실험적 연구로서 시설하우스 기초의 인발저항력에 대한 평가(Yoon 등, 2001; You 등, 2008)와 풍하중 및 적설하중에 대한 재하실험(Castellano, 2005; Kim 등, 2007; MAF, 2007; Yang 등, 2008)이 진행되었다. 그리고 다양한

*Corresponding author: baradori@rda.go.kr
Received July 31, 2009; Revised September 24, 2009;
Accepted September 25, 2009

종류의 시설하우스에 대한 구조안전성 분석 연구(Jeon 등, 1998; Kim 등, 2003; Yum 등, 2005, 2009; Lee 등, 2006)가 진행되었다. 이와 함께 표준형 및 측고를 개조한 1-2W형 비닐하우스의 구조안전성 분석에 관한 연구(Kim 등, 1998; Lee 등, 1998; Jeong 등, 2008; Suh 등, 2008)가 진행되었으나 측고 상승에 따른 구조안전성 분석과 함께 적합한 구조보강 방법을 제시한 연구는 없는 실정이다.

따라서 이 연구에서는 측고를 4.5m로 연장한 1-2W형 비닐하우스에 대한 구조안전성을 평가하고 구조적 불안전성에 대한 보강대책을 제시하였다.

재료 및 방법

1. 1-2W형 비닐하우스

1-2W형 비닐하우스는 1991년에 기본규격이 보급되고 1995년에 세부규격이 수정된 3연동 농가보급형 자동화하우스를 일컫는다. 1990년대 후반 강풍 및 폭설 피해가 발생한 후에 1-2W 각관 A형, 1-2W 각관 B형, 서까래를 강화한 1-2W 서까래보강형 등이 2001년에 보급되었고, 1-2W 보완형이 2003년에 각각 보

급되었다. 이 비닐하우스들의 측고는 모두 3.0m 전후이며 동고는 각각 4.55m~5.0m의 규격이다. 대부분의 파프리카 농가에서는 이와 같은 비닐하우스에서 파프리카를 재배하고 있으며 재배 노력절감과 생산성 증대를 위하여 비닐하우스의 측고를 연장하고 있다.

1-2W형 비닐하우스의 주요 부재 제원과 설계하중을 Table 1에 정리하였으며, Fig. 1은 1-2W 각관 A형 비닐하우스를, Fig. 2는 관행 3.0m인 비닐하우스의 측고가 4.5m로 증가된 상태를 나타내고 있다.

2. 측고 상승 제한 기준

측고를 연장하기 위해서는 비닐하우스에서 실제로 작물이 재배되는 공간을 확보해주는 주기둥의 길이가 증가해야하므로 부재의 좌굴위험도를 고려하여 주기둥의 무보강 높이 제한 기준을 결정하였다. 즉, 비닐하우스 기둥에 대한 세장비 제한 기준은 현재 제시되어 있지 않으나 현행 강구조설계기준(2005)의 압축부재 세장비 제한 기준인 $\lambda = 200$ 을 적용하고, 기둥의 지점 및 절점 조건을 고려하여 유효좌굴길이계수를 $K = 1.2$ (한단 고정, 타단 회전구속/이동자유)로 가정하였다. 식(1)을 이용하여 부재별 세장비가 기준치를 초과하지 않는 범

Table 1. The list of 1-2W type plastic greenhouses.

Dimension (mm)	Height		Width	Main column	Rafter	Purlin	Design load	
	Ridge	Eaves					Wind ($m \cdot s^{-1}$)	Snow (cm)
Type (Abbreviator)				External diameter × Thickness@Spacing				
Standard (S)	4,550	2,700	7,000	$\phi 48 \times 2.1t@2000$	$\phi 25 \times 1.5t@600$	$\phi 25 \times 1.2t$	30	19
Square A (SA)	4,800	3,000	7,000	$\square 60 \times 60 \times 2.3t@3000$	$\phi 31.8 \times 1.5t@600$	$\phi 25.4 \times 1.2t$	35	27
Square B (SB)	5,000	3,000	7,500	$\square 60 \times 60 \times 2.3t@3000$	$\phi 31.8 \times 1.5t@600$	$\phi 25.4 \times 1.2t$	35	25
Rafter strengthened (SR)	4,550	2,700	7,000	$\phi 48 \times 2.1t@2000$	$\phi 48 \times 2.1t@2000$ $\phi 25.4 \times 1.5t@500$	$\phi 25.4 \times 1.2t$	35	25
Supplementary (SS)	4,800	3,000	7,000	$\square 60 \times 60 \times 2.3t@3000$	$\phi 25.4 \times 1.5t@600$	$\phi 25.4 \times 1.2t$	35	35

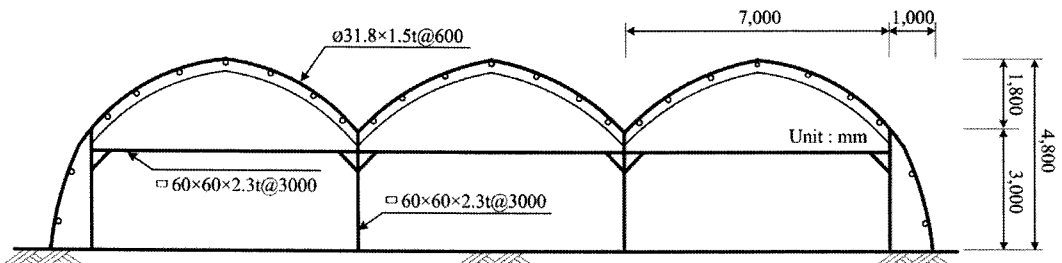


Fig. 1. The 1-2W A-type(SA) plastic greenhouse with 3.0m of column spacing.

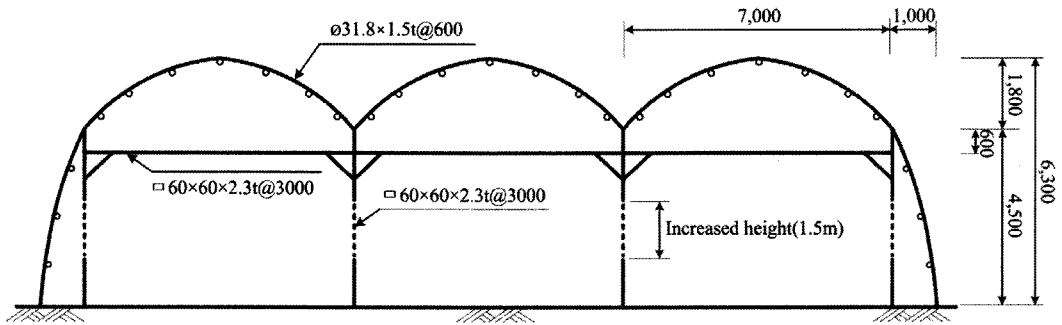


Fig. 2. Elevated eaves height 1-2W type plastic greenhouse with 3.0m of column spacing.

위를 무보강 높이 제한기준으로 결정하였으며 각 부재에 대한 제한기준을 ‘결과 및 고찰’의 Table 2에 나타내었다.

$$\lambda = K/l \tag{1}$$

여기서, λ 는 세장비, K 는 유효좌굴길이 계수, l 은 부재의 길이, i 는 단면 2차 반경이다.

3. 구조해석

시설하우스 구조안전성 분석을 위한 구조해석 모델링과 수치계산에는 범용 유한요소해석 코드인 VisualFEA/GEO(Ver. 4.14; Intuition Software)를 이용하였으며, 3차원 프레임요소(3-D beam element)를 사용하여 해석하였다.

Kim 등(1992b)과 Jeong 등(2008)은 아치형·지붕형 하우스 및 1-2W형 파프리카 하우스의 구조안전성 분석에서 골조 기둥의 지점을 각각 힌지와 고정조건으로 모델링하여 분석하였고, Kim 등(1998)과 Yum 등(2005)은 1-2W형 비닐하우스 및 비가림하우스의 구조안전성 분석에서 고정조건으로 모델링하였다. 이 연구에서는 연동하우스의 기초가 지반에 견고하게 고정된 것으로 가정하여 모델링하였다.

구조안전성 분석을 위하여 Kim 등(1992a)은 ‘90년대 우리나라 펜타이트 파이프 골조 플라스틱 하우스에 대하여 재현기간 8년을 기준으로 기상하중을 적용하였다. 한편 고측고형 파프리카 하우스의 경우에는 내구성이 높은 골조, 시설환경 장치 및 투입 비용 등을 고려하여 기상하중 결정을 위한 재현기간이 커질 수 있다(Jeong 등, 2008).

이 연구에서는 내구성이 높은 시설장치 및 보강부재

가 시공되는 고측고 구조물의 특성을 고려하여 2007년 농림부 고시 원예특작시설 내재해형 규격의 최대 설계 하중을 만족할 수 있도록 $40m \cdot s^{-1}$ 의 풍속과 40cm의 적설심을 부여하였다. 한편, 재배종인 파프리카의 중량을 실측하고 이로부터 산정된 215N/m의 작물 하중과 구조물의 자중을 적용하여 구조해석을 수행하였다. 바람 및 눈 하중의 재하 방법은 Lee 등(1995)과 (일)시설원예협회(2005)의 기준을 따랐다.

4. 구조보강 방법

Fig. 2와 같이 관행(SA) 비닐하우스의 측고를 3.0m에서 4.5m로 상승시키면 설계하중은 풍속 $35m \cdot s^{-1}$ 에서 $19m \cdot s^{-1}$ 정도로 크게 저하되며 특히 방풍벽이 취약한 구조로 나타났다. 적설심은 기존 설계하중을 다소 하회하는 것으로 분석되었으나 중방의 경우, 파프리카 작물하중으로 인하여 매우 취약해지는 것으로 나타났다. 이와 같이 측고 상승에 따른 비닐하우스의 구조안전성 저하에 대한 적절한 보강방법을 제시하기 위하여 Fig. 3과 같이 네 가지 보강 안에 대해 구조보강 효과를 분석하였다. Fig. 3(a)는 기존 중방의 하단에 부재를 추가하여 2중 중방으로 시공하고 외측기둥에 보조기둥을 연결하여 지표면에 고정하는 방법(RM 01)이고, Fig. 3(b)는 2중 구조의 중방을 수직 부재를 이용하여 서로 연결하는 방법(RM 02)이다. 이 방법들은 일부 농가에서 실제로 적용한 사례를 기준으로 하였으며 그 유효성을 분석하고자 하였다. Fig. 3(c)는 중방을 트러스 구조로 보강하고 외측기둥과 방풍벽을 이음부재를 이용하여 연결하는 방법(RM 03)이다. Fig. 3(d)는 보강부재의 간섭 없이 측벽에 보온커튼 등을 설치하기 위하여 이음부재를 경사 배치한 보강 방법

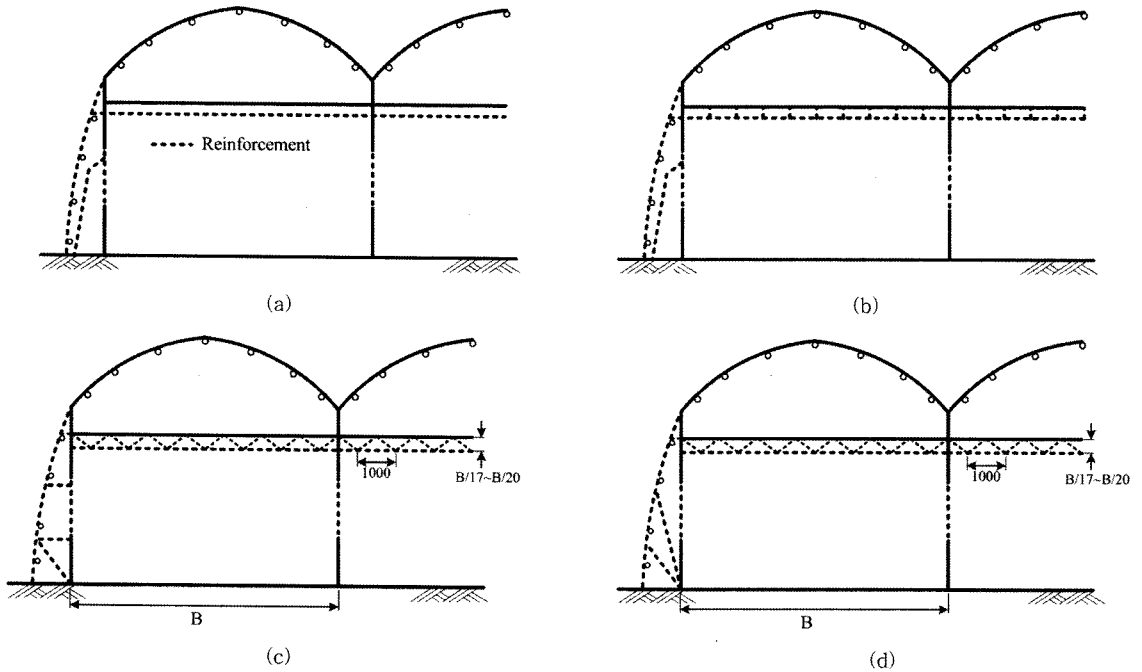


Fig. 3. Evaluated reinforcement methods as increasing the eaves height: (a) Double layers cross beam and auxiliary side column-RM 01; (b) Double layers cross beam with vertical web-RM 02; (c) Lattice type cross beam and horizontal reinforcements on windbreak wall-RM 03; (d) Inclined reinforcements on windbreak wall-RM 04.

(RM 04)이다.

결과 및 고찰

1. 측고 상승 제한 기준

식(1)을 이용하여 부재의 좌굴위험도를 고려한 주기동의 무보강 높이 제한 기준을 결정하였으며 이를 Table 2에 나타내었다.

2. 측고 연장 대상 비닐하우스

고시된 1-2W형 비닐하우스 중 외경 $\square 48\text{mm}$ 의 주

기둥을 사용하는 표준형(S) 및 서까래 보강형(SR)의 재배 높이는 Fig. 4(a)에 보인 바와 같이 2.1m이다. Table 2의 무보강 높이 제한 기준을 고려하면 현재의 측고에서 0.6m를 초과하는 연장에는 적합하지 않은 것으로 나타났다. 반면 각관 $\square 60 \times 60 \times 2.3\text{t}(\text{mm})$ 를 주기동 부재로 사용하는 Fig. 4(b)의 1-2W 각관 A형(SA), 각관 B형(SB), 보완형(SS) 비닐하우스의 무보강 높이는 1.5m까지 연장 가능한 것으로 나타났다. 그러므로 기존의 중방 상부 공간인 0.6m를 고려하면 측고가 4.5m가 된다. 그러나 이들 중 1-2W 각관 B형과 보완형의 경우 하우스 폭이 넓거나 서까래 부재가 매

Table 2. Limited height depending on section property of a main column member.

Types of 1-2W plastic greenhouse	Section properties of a main column		Limited height, H_c (m)	Proper type for increasing the eaves height to 4.5m
	Shapes & parameter (mm)	Thickness (mm)		
S, SR	$\phi 48$	2.1t	2.7	-
SA, SB, SS	$\square 60 \times 60$	2.3t	3.9	SA

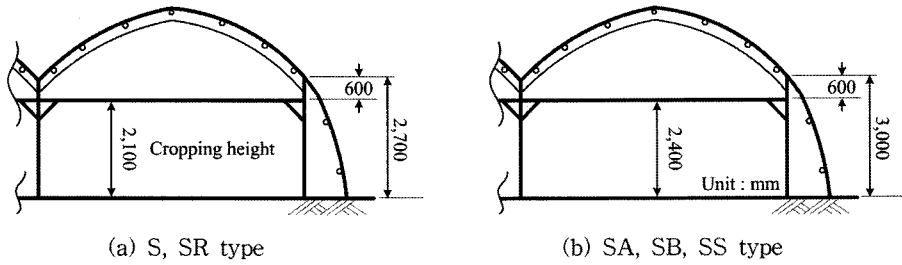


Fig. 4. Cropping height of 1-2W type plastic greenhouses.

우 취약하여, 서까래 전체를 교체 보강해야 함으로써 경제성이 매우 떨어지는 것으로 분석되었다. 따라서 4.5m로 측고를 연장한 1-2W 각관 A형을 기준으로 구조안전성 및 구조보강 효과를 고찰하였다.

3. 보강 방법에 따른 보강효과

Fig. 5는 보강방법에 대한 부재의 재원을 나타내고 있다. 각 구조보강 안에 대한 구조보강 효과를 분석하기 위하여 부재의 허용응력에 대한 발생응력 비율인 보강지수를 제시하였다. Table 3에는 각 보강방법에 대하여 부재별로 산출된 보강지수를 나타냈으며 이 값이 높을수록 보강효과가 큰 것을 의미한다.

RM 01의 경우 외측기둥에 설치한 수직기둥 보강재는 효과가 거의 없는 것으로 나타났으며, RM 02는 2중 중방 사이의 수직재 단면 강성이 매우 커져야 하는 단점이 있다. RM 03와 RM 04의 경우 외측기둥과 방풍벽 사이의 보강이음재가 측벽 구조보강에 큰 효과를 보였으며, 트러스 형태의 중방은 높이에 따라 증가하는 작물하중 및 각종 장치하중에 대해서 적절한 안전성을 확보하는 것으로 나타났다. 따라서 RM 03과 RM 04의 보강 안이 가장 효과가 큰 것으로 분석되었다. Fig. 6에는 이 보강방법들 중 RM 03 보강 안의 설계하중에 대한 변형 특성을 나타내었고, 구조보강 효과가 우수한 RM 03 및 RM 04

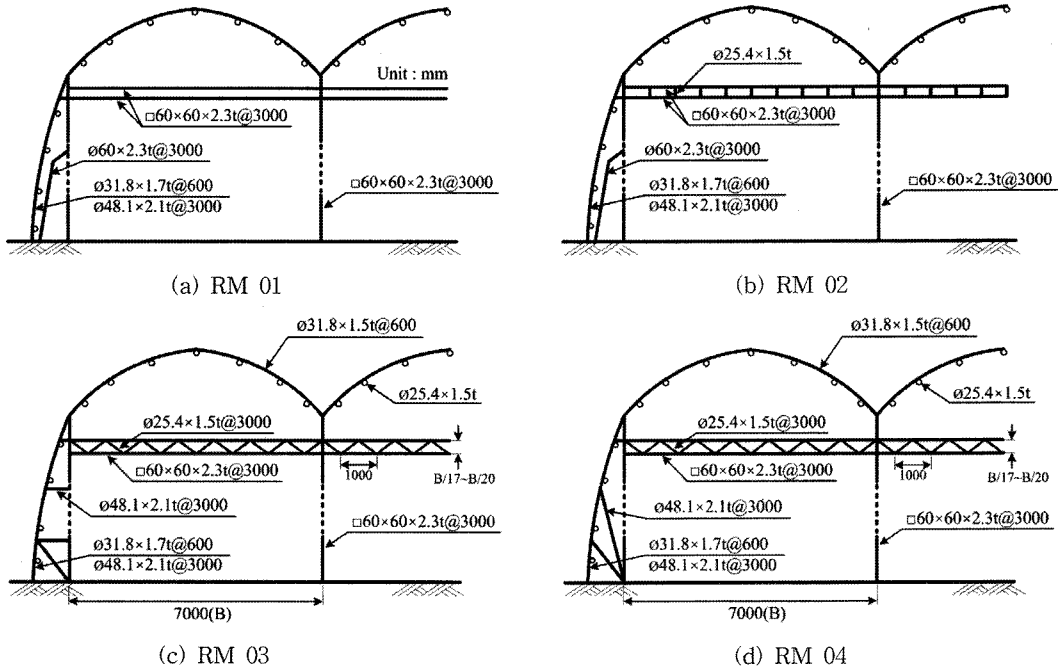


Fig. 5. Dimension of members for evaluated reinforcement methods.

측고를 높인 1-2W형 비닐하우스의 구조안전성 분석 및 구조보강 방법

Table 3. Reinforcement effect with various reinforcement methods.

Reinforcement method	Maximum combined stress, MPa[A]				Reinforcement index ²			
	Wind load, 40m · s ⁻¹		Snow load, 40cm		Against wind load		Against snow load	
	Windbreak wall	Cross beam	Windbreak wall	Cross beam	Windbreak wall	Cross beam	Windbreak wall	Cross beam
RM 01	494.1	362.2	225.5	319.4	0.427	0.583	0.936	0.661
RM 02	467.8	526.9	190.9	385.8	0.451	0.400	1.105	0.547
RM 03	187.0	58.1	151.1	54.8	1.128	3.632	1.396	3.850
RM 04	171.7	55.0	149.0	50.6	1.229	3.836	1.416	4.170

²Reinforcement index = allowable stress (211MPa)/[A].

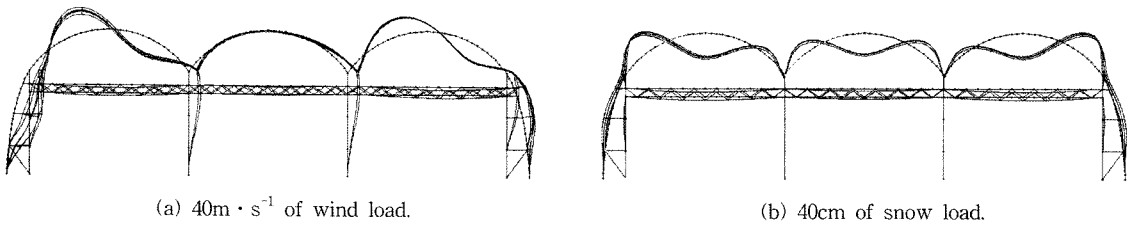


Fig. 6. Deformed shape of the elevated eaves height 1-2W A-type plastic greenhouse with effective reinforcement method, RM 03 under design loads.

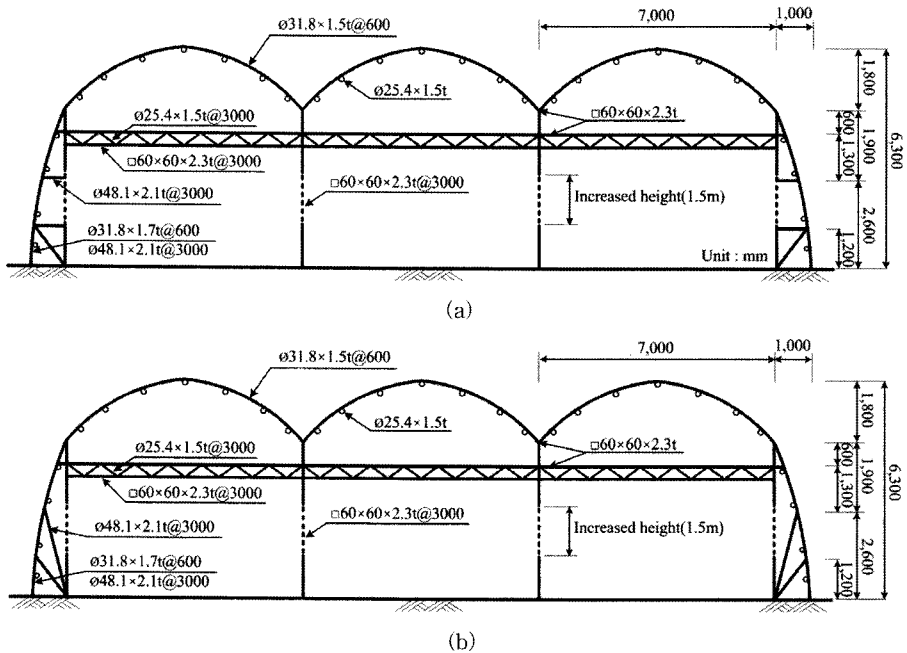


Fig. 7. Recommended reinforcement methods for the elevated eaves height 1-2W A-type plastic greenhouse: (a) Lattice type cross beam and horizontal reinforcements on windbreak wall; (b) Lattice type cross beam and inclined reinforcements on windbreak wall.

의 보강 안에 대한 상세도를 Fig. 7에 나타내었다. 약 1,500만원의 구조개선 비용이 소요되는 것으로 분 이 보강방법을 적용하면 시설면적 10a를 기준으로 석되었다.

적 요

파프리카를 재배하는 농가에서는 생산성 증대를 위하여 비닐하우스 측고를 관행 3.0m에서 4.5m까지 높이고 있으나 이에 대한 구조안전성 검토 없이 시공이 이루어지고 있는 실정이다. 이 연구에서는 측고가 4.5m로 상승된 1-2W형 비닐하우스를 대상으로 풍속 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 적설심 40cm의 설계하중에 대하여 구조안전성 분석을 수행하고 적절한 구조보강방법을 제시하였다. 3차원 프레임해석을 이용하여 구조해석을 수행한 결과, 측면 방풍벽의 보강이 반드시 필요한 상태였으며 파프리카 작물하중으로 인하여 매우 취약해지는 중방의 보강이 요구되었다. 측면 보강 방법으로서는 외측 기둥과 방풍벽을 보강이음을 이용하여 서로 연결해 주고, 외측 기둥 간격에 따라 방풍벽 부재를 보강하는 방법이 가장 효과가 큰 것으로 분석되었다. 중방의 경우 비닐하우스 폭의 1/17~1/20의 높이로 2중 중방 구조를 만들고 그 사이를 사재로 연결하여 트러스 형태로 보강하는 방법이 가장 큰 효과를 보였다.

주제어 : 1-2W형 비닐하우스, 유한요소해석, 재배높이, 측고상승, 파프리카

사 사

본 연구는 2008년도 농촌진흥청 국립원예특작과학원 박사후연수과정지원사업에 의해 이루어진 것임. 본 논문의 수치해석 연구를 위하여 전북대학교 지역건설공학과에서 유한요소해석 프로그램인 VisualFEA/GEO (Ver. 4.14)를 지원해주셨으며 이에 감사의 말씀을 드립니다.

인 용 문 헌

1. ASAE. 1997. ASAE standard. 44th ed. ASAE, St. Joseph, Mich, USA. EP288.5;EP460;EP486.
2. British Standard Institution. 2002. Standard BS EN 13031-1:2001 Greenhouses: -design and construction- part 1: commercial production greenhouses. BSI British Standard, London, UK.
3. Castellano, S., A. Candura, and G. Scarascia-Mugnozza. 2005. Greenhouse structure SLS analysis: Experiment results and normative aspects. ISHS Acta

Horticulturae 691:701-708.

4. Iribarne, L., J.A. Torres, and A. Pena. 2007. Using computer modeling technique to design tunnel greenhouse structures. Computers in Industry 58(5):403-415.
5. Japan Greenhouse Horticulture Association. 2005. Handbook of protected horticulture. 5th ed. Horticulture Information Center, Tokyo, Japan. p. 38-50.
6. Jeon, J.G., J.H. Yun, K.W. Kim, and I.B. Lee. 1998. Analysis of structural safety for arch typed plastic house while working the carrier of hanged monorail by fem. Proceedings of Korean Society for Agricultural Machinery, 1998 Winter Conference 129-135 (in Korean).
7. Jeong, S.W., J.Y. Park, M.R. Huh, and J.C. Park. 2008. Analysis on the safety structure under 1-2W type greenhouse for paprika culture. Proceedings of Korean Society for Bio-Environment Control, 2008 Spring Conference 17(1):398-401 (in Korean).
8. Kim, M.K., J.E. Son, S.W. Nam, D.G. Lee, and S.J. Rhie. 1992a. Studies on the structural design of biological production facility: Frecequy analysis of weather data for design load estimation. Journal of Biological Production Facilities & Environment Control 1(1):1-13 (in Korean).
9. Kim, M.K., J.E. Son, and S.W. Nam. 1992b. Studies on the structural design of biological production facility:(2) Simple method for design load estimation and safety test. Journal of Biological Production Facilities & Environment Control 1(2):148-153 (in Korean).
10. Kim, K.W., J.H. Yun, Y.S. Chang, and J.K. Jeun. 1998. 3-D structural safety analysis in plastic greenhouse (1-2W type) by computer-aided fem. Proceedings of Korean Society for Agricultural Machinery, 1998 Summer Conference 129-135 (in Korean).
11. Kim, K.W., M.S. Kim, J.H. Yun, J.K. Jeun, and I.B. Lee. 2003. A 3D-structural beam optimization for a venlo-type plastic-film house using computer aided fem. Proceedings of Korean Society for Agricultural Machinery, 1998 Summer Conference 360-365 (in Korean).
12. Korea Rural Economic Institute. 2008. The actual condition and subjects of Paprika in Korea.
13. Lee, H.W. and S.K. Lee. 1993. Distribution of wind force coefficients on the three-span arched house. Journal of Biological Production Facilities & Environment Control 2(1):46-52 (in Korean).
14. Lee, S.K. and H.W. Lee. 1992a. Distribution of wind force coefficients on the single-span arched house. Journal of Biological Production Facilities & Environment Control 1(1):28-36 (in Korean).
15. Lee, S.K. and H.W. Lee. 1992b. Distribution of wind force coefficients on the two-span arched house. Journal of Biological Production Facilities & Environment

- Control 1(2):142-148 (in Korean).
16. Lee, S.K., et al. 1995. Greenhouse structural requirements. Rural Development Corporation of Korea (in Korean).
 17. Lee, S.H., Y.K. Hong, N.K. Yun, K.W. Kim, and Y.H. Cho. 2006. Analysis of snow safety for ginseng shading structure. Proceedings of Korean Society for Bio-Environment Control, 2006 Autumn Conference 15(2):378-381 (in Korean).
 18. Lee, S.Y., H.H. Kim, H. Chun, Y.S. Kwon, and K.M. Lee. 1998. Study on material and structural size of 1-2W type greenhouse by structural analysis simulation. Proceedings of Korean Society for Bio-Environment Control, 1998 Autumn Conference 7:89-93 (in Korean).
 19. Ministry of Agriculture and Forestry. 2007. Development of optimum model and design systems for saving structural material and improving safety of greenhouse structure (in Korean).
 20. National Greenhouse Manufacturers Association. 2004. Structural design manual.
 21. Suh, W.M., M.K. Choi, Y.H. Bae, J.W. Lee, and Y.C. Yoon. 2008. Structural safety analysis of a modified 1~2W type greenhouse enhanced for culturing paprika. J. Bio-Env. Con. 17(3):197-203 (in Korean).
 22. Son, J.E. 1994. Determination of reasonable unit snow weight and greatest gust speed for design of agricultural structures and their applications. Journal of Biological Production Facilities & Environment Control 3(1):1-9 (in Korean).
 23. Yoon, Y.C., W.M. Suh, and J.H. Cho. 2001. The uplift capacity of plane and corrugated piles for pipe frame greenhouse. J. Bio-Env. Con. 10(3):148-154 (in Korean).
 24. You, H.Y., Y. Paek, H.J. Kim, H. Chun, and I.H. Yu. 2007. A study on structural behaviour characteristics of high-rise improved 1-2W vinyl-house for paprika cultivation. Proceedings of Korean Society for Bio-Environment Control, 2007 Autumn Conference 16(2): 42 (in Korean).
 25. You, H.Y., Y.A. Shin, M.W. Cho, and I.H. Yu. 2008. A study of structure-soil interaction problem of greenhouse foundations. Proceedings of Korean Society for Bio-Environment Conc Conference 17(1):456-460 (in Korean).
 26. Yum, S.H., H.J. Kim, H. Chun, S.Y. Lee, Y.I. Kang, Y.H. Kim, and Y.H. Kim. 2005. Analysis of the structural safety in a non-heating greenhouse with a single cover for *Citrus* cultivation in Jeju. J. Bio-Env. Con. 14(3):166-173 (in Korean).